

УДК 669.546.623

**О. Е. Корольков<sup>1</sup>, М. А. Пахомов<sup>2</sup>, В. В. Столяров<sup>3</sup>,  
А. Д. Шляпин<sup>4</sup>**

<sup>1,4</sup>Московский политехнический университет, г. Москва

<sup>2,3</sup>Институт машиноведения РАН, г. Москва

<sup>1</sup>*41zh1k@mail.ru*, <sup>2</sup>*pakhomovmish@gmail.com*, <sup>3</sup>*vlstol@mail.ru*, <sup>4</sup>*46883412@mail.ru*

## ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ТОКА НА ДЕФОРМАЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ ПРИ ИЗГИБЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti-6Al-4V

Изучено влияние электропластического эффекта (ЭПЭ) на процесс формообразования изгибом образцов из титанового сплава Ti-6Al-4V. Показано, что ЭПЭ позволяет повысить деформируемость изгибом пластины без существенного увеличения толщины оксидной пленки на поверхности.

*Ключевые слова:* изгиб, импульсный ток, электропластическая деформация, титан, оксидная пленка.

**O. E. Korolkov, M. A. Pakhomov, V. V. Stolyarov, A. D. Shlyapin**

## INFLUENCE OF PULSE CURRENT ON DEFORMABILITY IN BENDING OF TITANIUM ALLOY Ti-6Al-4V

The effect of the electroplastic effect (EPE) on the process of bending of samples out of Ti-6Al-4V is studied. It is shown that EPE makes it possible to increase the bending deformability of plate without a substantial increase in the thickness of the oxide film on the surface.

*Keywords:* bend, pulse current, electroplastic deformation, titanium, oxide film.

Существует несколько видов титановых сплавов, используемых в медицине, к числу которых относится Ti-6Al-4V [1]. При комнатной температуре его пластичность невелика, поэтому пластическая деформация невозможна без нагрева до температур, близких к тем-

пературе полиморфного превращения 950–1000 °С [2], что вызывает окисление поверхности деталей. В этой связи исследовано влияние режимов импульсного тока (плотности и направления) на деформационное поведение титанового сплава Ti-6Al-4V.

Объектом исследования служили плоские образцы размерами  $2 \times 8,5 \times 70$  мм<sup>3</sup> в отожженном состоянии. В качестве рабочего станда используется изолированная оснастка, состоящая из пуансона и матрицы шириной, установленная на горизонтальную испытательную машину И-5081. Скорость перемещения траверсы машины составляла 0,5 мм/мин.

Импульсный электрический ток плотностью от 11,8 до 23,5 А/мм<sup>2</sup>, частотой 1 кГц, длительностью импульса 110 мкс от генератора подводился к оснастке для образцов № 1–4 — перпендикулярно оси прикладываемой нагрузки, для образца № 5 — параллельно. Контроль температуры осуществлялся в точке контакта образца и пуансона хромель-алюмелевой термопарой UT321.

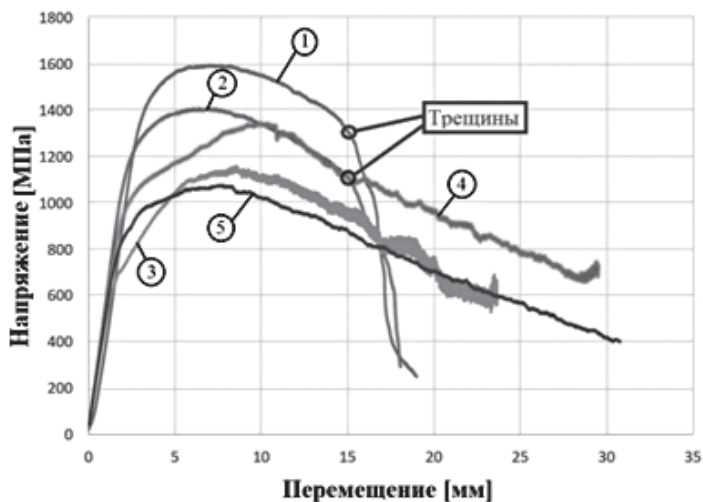


Рис. Деформационные кривые изгиба для Ti-6Al-4V:

1 — без тока; 2—11,8 А/мм<sup>2</sup>; 3 — 23,5 А/мм<sup>2</sup>; 4 — 17,7 А/мм<sup>2</sup>; 5 — 17,7 А/мм<sup>2</sup>  
(ток параллельно оси нагружения)

В процессе эксперимента на двух из пяти образцах образовались трещины. Образец № 1 был испытан при комнатной температуре и в отсутствии тока, № 2 — с плотностью тока 11,76 А/мм<sup>2</sup> и температурой

150 °С. При увеличении плотности тока трещины не образовывались. Образец № 3 был испытан при плотности тока 23,5 А/мм<sup>2</sup>. Отметим, что в точках контакта с опорами имело место «подваривание» образца, что вызывало скачки на графике. Для образца № 5 была изменена схема подключения, в результате чего, при одинаковой с образцом № 4 плотности тока максимальная нагрузка составила 1071 МПа против 1321 МПа.

Таким образом, показано, что ЭПЭ позволяет избежать тещин, и прохождение тока параллельно оси нагружения дает лучший результат.

### Литература

1. ГОСТ Р ИСО 5832-3-2014. Имплантаты для хирургии. Металлические материалы. Часть 3. Деформируемый сплав на основе титана, 6-алюминия и 4-ванадия. 8 с. Техэксперт : электронный фонд документации [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200116339> (дата обращения: 10.01.2020).
2. Титановые сплавы. Металловедение титана и его сплавов / С. П. Белов, М. Я. Брун, С. Г. Глазунов [и др.] ; под ред. Б. А. Колачева, С. Г. Глазунова. М.: Металлургия, 1992. 352 с.